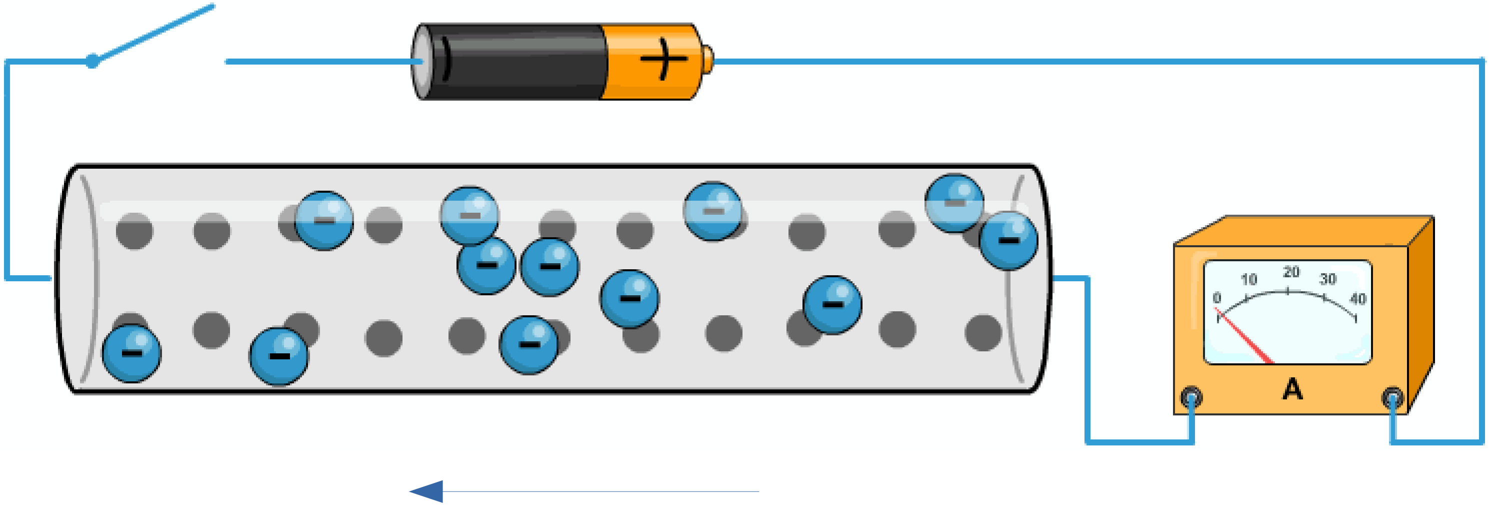
Física III 2023 (IF) – Aula 26

Objetivos de aprendizagem

- Definir corrente elétrica
- Definir densidade de corrente elétrica
- Obter a densidade corrente elétrica conhecendo-se a densidade de portadores cargas (e.g. elétrons) e velocidade média destes
- Enunciar a equação de continuidade (conservação da carga)
- Determinar a densidade de corrente em situações em que há correntes estacionárias, conhecida a geometria

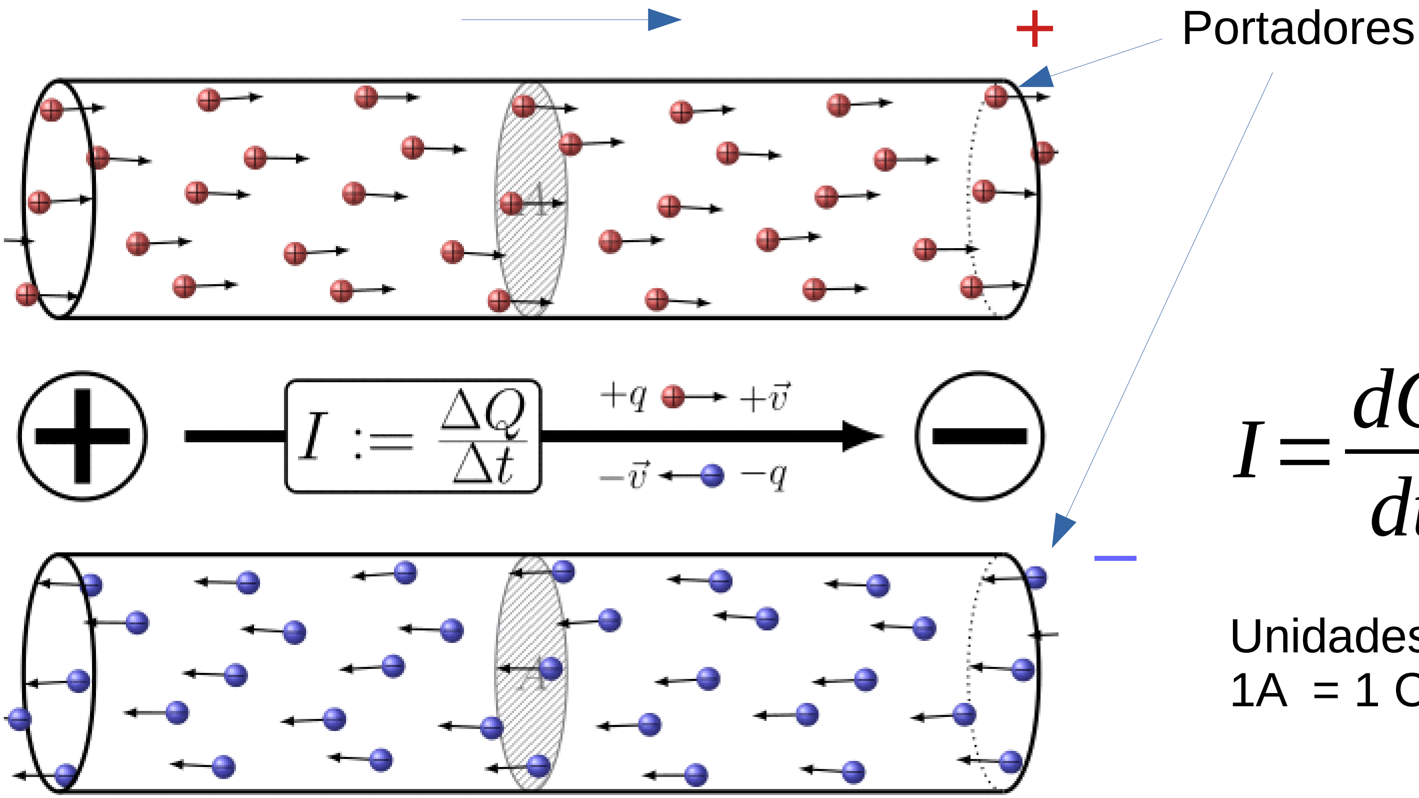
Corrente elétrica



I

https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=4768167

Corrente elétrica



$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Unidades
1A = 1 C/s

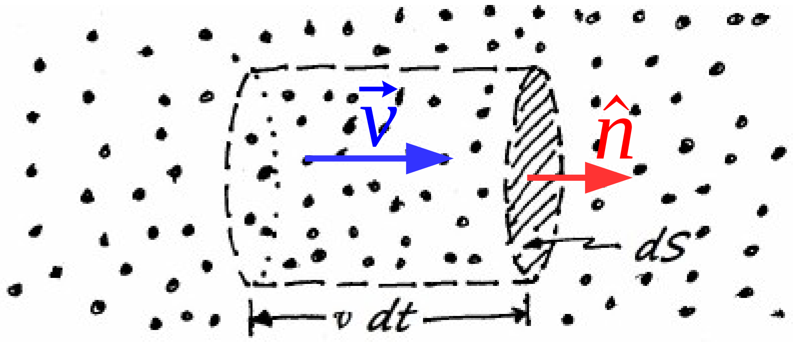
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ElectricCurrent.gif

Densidade de corrente

- Corrente por unidade de área
- Vetor

Ex.:

$\vec{v} \| \hat{n}$



Carga de cada portador

Densidade de portadores

$$\vec{j} = \rho_p \vec{v}_{med} = q_p N_p \vec{v}_{med}$$

$$I_S = \frac{dQ}{dt} = \int_S \vec{j} \cdot \hat{n}\, dS$$

= fluxo da densidade de corrente através de S

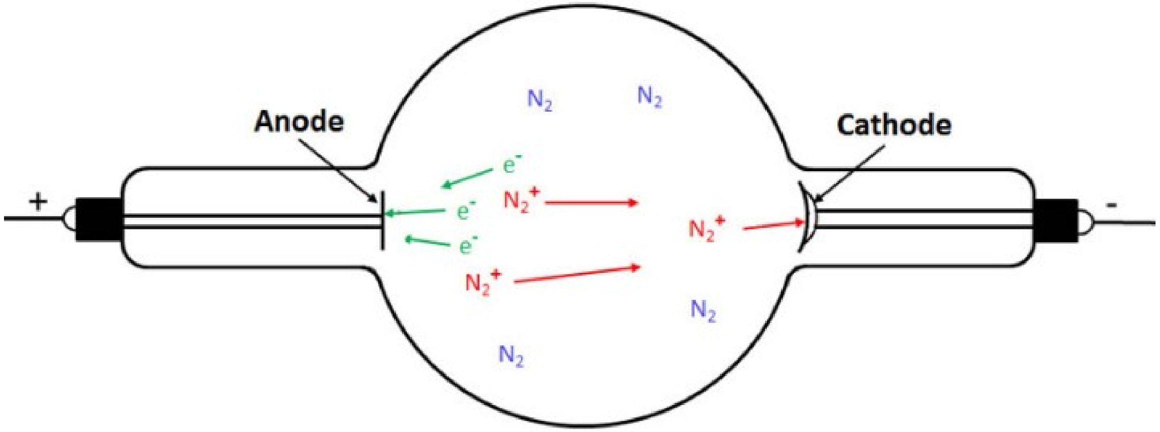
$$d^2 Q = q_p N_p dV = \rho_p v\, dt\, dS = j\, dt\, dS$$

Diferentes tipos de portadores

- Densidade de corrente total

$$\vec{j} = \sum_k \vec{j}_k = \sum_k q_k \, N_k < \vec{v}_k >$$

Ex.: discarga em gás (N_2)



Estimativa de v em condutor

- Ex. fio de 1 mm^2 de Cobre com corrente de 1 A
- Densidade do Cobre ~9 g/cm^3
- Massa atômica do Cobre ~ 63
- Elétrons livres (portadores) por átomo ~1

Estimativa de v em condutor

- Ex. fio de 1 mm^2 de Cobre com corrente de 1 A
- Densidade do Cobre ~9 g/cm^3
- Massa atômica do Cobre ~ 63
- Elétrons livres (portadores) por átomo ~1

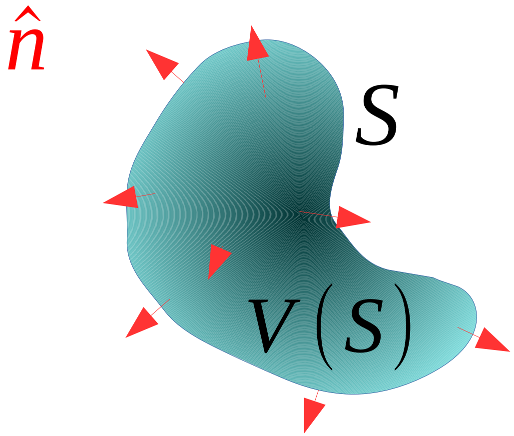
$$v_{\mathrm{med}} = 0.7 \times 10^{-4}\ \mathrm{m/s} \approx 0.1\ \mathrm{mm/s}$$

Obs.:
- velocidade de Bohr: c/137= 2.18e6 m/s
- térmica: ~2000m/s

Conservação da carga

- Considerando uma superfície fechada S:

$$\frac{dQ_{\text{int}}}{dt} = -\oint_S \vec{j}\,.\,\hat{n}\,dS$$



S fechada

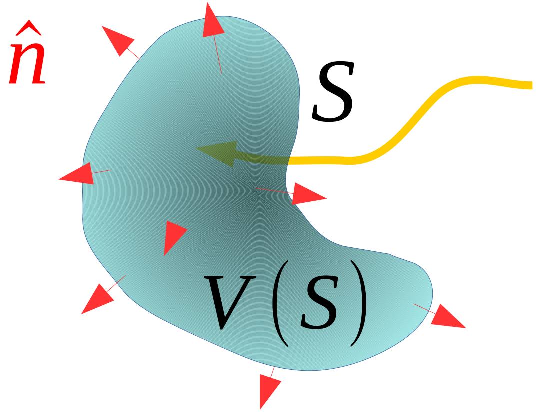
$$Q_{\text{int}} = \int_{V(S)} \rho(\vec{r},t)\,dV$$

Carga interna ao volume limitado por S

Conservação da carga

- Considerando uma superfície fechada S:

$$\frac{dQ_{int}}{dt} = -\oint_S \vec{j}\,.\,\hat{n}\,dS = -\int_{V(s)} \vec{\nabla}\,.\,\vec{j}\,dV$$



S fechada

$$Q_{int} = \int_{V(S)} \rho(\vec{r},t)\,dV$$

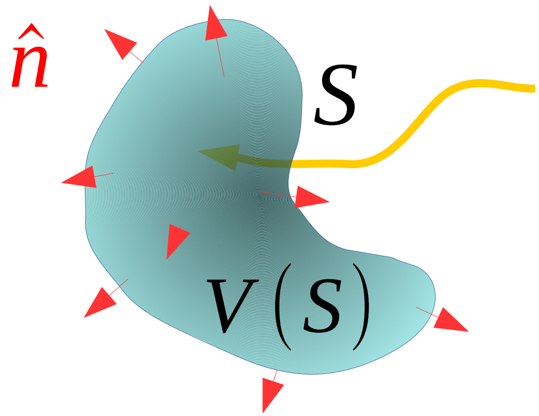
$$\frac{d\,Q_{int}}{dt} = \int_{V(S)} \frac{\partial \rho(\vec{r},t)}{\partial t}\,dV$$

Conservação da carga

- Considerando uma superfície fechada S:

T. Gauss

$$\frac{dQ_{int}}{dt} = -\oint_S \vec{j} \,.\, \hat{n}\, dS = -\int_{V(S)} \vec{\nabla} \,.\, \vec{j}\, dV$$



S fechada

$$Q_{int} = \int_{V(S)} \rho(\vec{r}, t)\, dV$$

$$\frac{d\,Q_{int}}{dt} = \int_{V(S)} \frac{\partial \rho(\vec{r}, t)}{\partial t}\, dV$$

$$\vec{\nabla} \,.\, \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Equação da continuidade

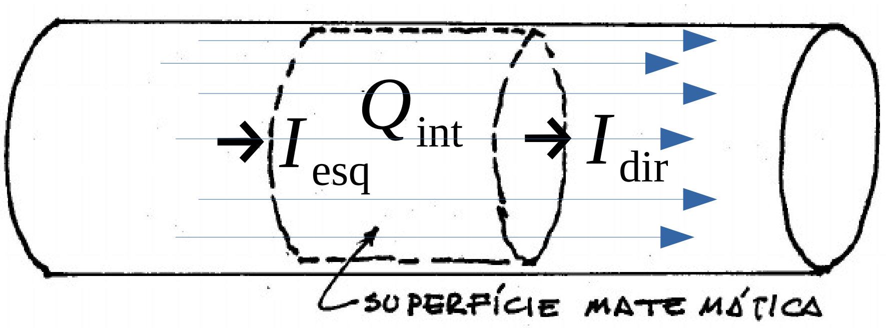
- Forma integral $$\frac{dQ_{\text{int}}}{dt} = -\oint_S \vec{j}\,.\,\hat{n}\,dS$$

- Forma diferencial $$\vec{\nabla}\,.\,\vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Correntes estacionárias

- Corrente constante, no tempo
- Densidade de corrente constante, no tempo (pode variar com a posição)
- Se são realmente constantes não devem gerar concentrações crescentes de carga (sob pena de não poderem permanecer constantes)

Exemplo: trecho de fio condutor



$$\frac{dQ_{\text{int}}}{dt} = I_{\text{esq}} - I_{\text{dir}}$$

$$Q_{\text{int}} = \text{constante}$$

$$\Rightarrow I_{\text{esq}} = I_{\text{dir}}$$

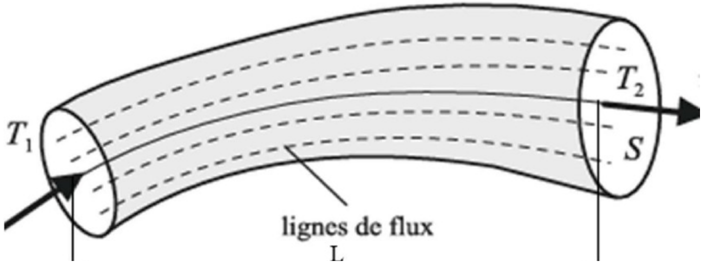
Densidade constante

- Eq. cont.: $\vec{\nabla}.\vec{j}=-\frac{\partial\rho}{\partial t}=0$ (em todo o espaço)

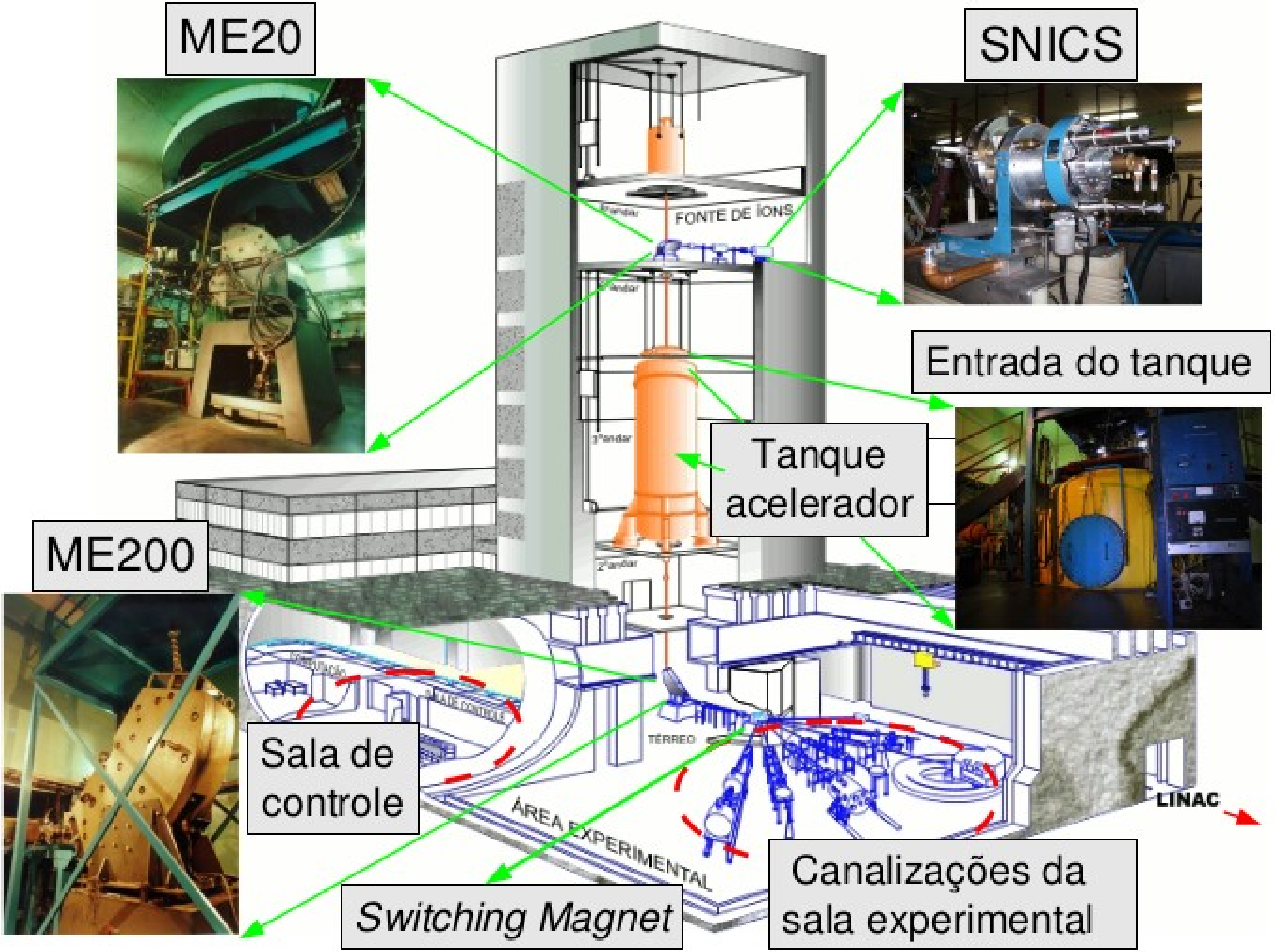
$$\Rightarrow\vec{\nabla}.\vec{j}=0$$

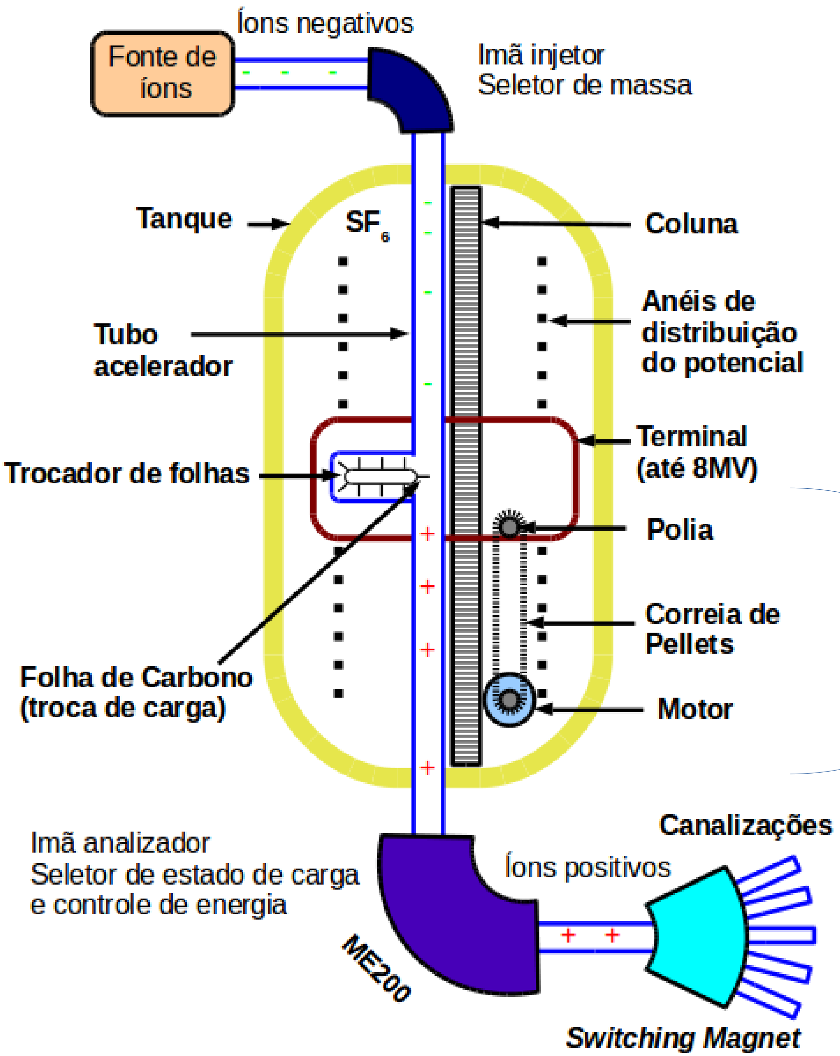
Nesse caso j é análoga a E em uma região sem cargas $(\vec{\nabla}.\vec{E}=0)$

→ Tubo de fluxo

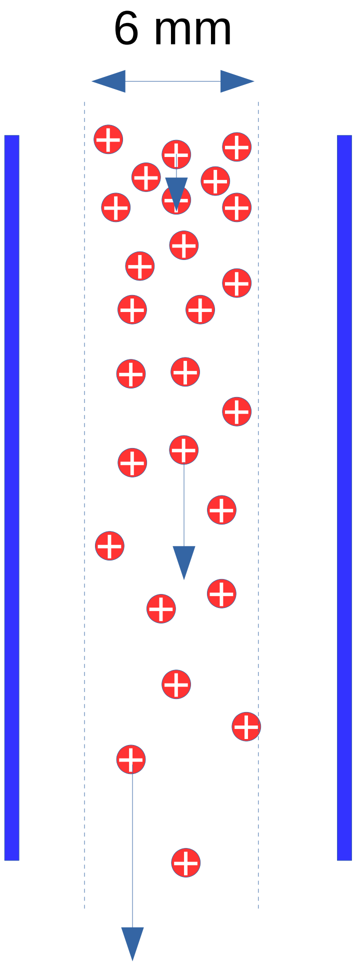


Acelerador Pelletron Tandem – 8UD





Íons negativos
Fonte de íons
Imã injetor
Seletor de massa
Tanque
SF$_6$
Coluna
Anéis de distribuição do potencial
Tubo acelerador
Terminal (até 8MV)
Trocador de folhas
Polia
Correia de Pellets
Folha de Carbono (troca de carga)
Motor
Canalizações
Imã analizador
Seletor de estado de carga e controle de energia
Íons positivos
ME200
Switching Magnet



6 mm

exemplo 2 da Apostila de Física 3 IF-2017 Cap. 26. (enquete)

Em um tubo acelerador de partículas de 10 m de comprimento, e seção transversal circular de 3mm de raio, é injetado um feixe de prótons com velocidade inicial de 3000km/s, e intensidade correspondente a uma corrente de 10μA. Entre as extremidades do acelerador é estabelecida uma diferença de potencial de 8 MV. Sabendo-se que o próton tem massa de $1,672 \times 10^{-27}$ kg, e carga positiva de $1,602 \times 10^{-19}$ C: (a) calcule o número de prótons por unidade de volume na entrada do acelerador; (b) supondo o campo elétrico uniforme no interior do tubo calcule a velocidade de um próton, e a densidade volumétrica de prótons em um ponto genérico do tubo, distante x da entrada do acelerador; (c) determine a velocidade de um próton e a densidade volumétrica de prótons na saída deste acelerador (extremidade do tubo oposta à entrada do acelerador).